





CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Erklärung gemäß Regel 4.17:**

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US*

**Veröffentlicht:**

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

Dirac-ähnliche Eigenschaften aufweisen; die Zeitfunktionen werden so generiert, dass die nach der Filterung erhaltenen Dirac-ähnlichen Zeitfunktionen ihre Maxima in einer überabgetasteten Zeitauflösung an verschiedenen, vorzugsweise benachbarten Stellen besitzen; es werden sowohl die überabgetasteten Dirac-ähnlichen Zeitfunktionen nach der Filterung als auch die zugehörigen nicht-überabgetasteten Filter-Eingangsfunktionen gespeichert, und aus den Paaren der gespeicherten Zeitfunktionen bzw. Filter-Eingangsfunktionen wird iterativ ein Paar ausgewählt, das durch Anwenden des Verschiebungssatzes an die Stelle eines durch eine Datenbelegung der verbleibenden Träger, inklusive bereits erfolgter iterativer Modifikationen, hervorgerufenen Spitzenwertes verschoben und anschließend gewichtet mit einem Faktor von dem Zeitsignal abgezogen wird, wobei iterativen Modifikationen parallel auf das Zeitsignal im überabgetasteten Raster nach Filterung und auf das zugehörige Zeitsignal ohne Überabtastung und ohne Filterung angewendet werden.

## Verfahren zum Übertragen von Daten durch Mehrträger-Modulation

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Übertragen von Daten durch Mehrträger-Modulation, wobei die Daten senderseitig zu Blöcken zusammengefasst und durch Inverse Diskrete Fourier-Transformation (IDFT) blockweise moduliert werden, und wobei mehrere Träger, d.h. Komponenten der DFT-Blöcke, reserviert werden, die nicht mit Daten belegt werden, und diese Träger so belegt werden, dass damit eine Menge von Zeitfunktionen generiert wird, die nach einer Filterung Dirac-ähnliche Eigenschaften aufweisen.

Empfängerseitig werden dabei die Datensignale durch Diskrete Fourier-Transformation (DFT) blockweise demoduliert.

Eine solche Übertragung von Daten mit Mehrträgerübertragung, mit einer Vielzahl von Trägerfrequenzen, wird beispielsweise leitergebunden, aber auch im Funkbereich, für Broadcast-Systeme und für den Zugang zu Datennetzen, wie Internet, verwendet. Ein Problem sind dabei die resultierenden hohen Spitzenwerte des Zeitsignals, die man iterativ reduziert.

Ganz allgemein sind auf dem Gebiet der digitalen Signalverarbeitung seit einiger Zeit Systeme im Einsatz, die eine hochrätige digitale Datenübertragung ermöglichen. Eine Technik, die in jüngster Zeit immer mehr an Bedeutung gewinnt, ist die hier angesprochene Mehrträgerübertragung, die auch als "Discrete Multitone (DMT)"-Übertragung oder "Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM)"-Übertragung bekannt ist. Bei der Mehrträgerübertragung wird der zu übertragende Datenstrom in viele parallele Teilströme zerlegt, welche im Frequenzmultiplex unabhängig voneinander übertragen werden.

Praktisch erfolgt die Signalerzeugung durch eine IFFT (Inverse Fast Fourier Transform)-Transformation, wobei die Komponenten des Vektors im DFT (Discrete Fourier Transform)-Bereich mit Signalpunkten einer QAM (Quadratur-Amplituden-Modulation) belegt werden. Durch die IFFT-Transformation entsteht ein Signal mit Blockstruktur im Zeitbereich. Um eine Inter-Block-Interferenz zu vermeiden, wird bei DMT- bzw. OFDM-Übertragung ein zyklischer Präfix, das sogenannte Guard-Intervall, eingesetzt. Hier wird zyklisch das Rahmenende dem Block zeitlich vorangestellt. Die Faltung mit der Kanalimpulsantwort erscheint dann als zyklische Faltung, welche im DFT-Bereich durch eine einfache Multiplikation

mit komplexen Koeffizienten beschrieben werden kann. Es vereinfacht sich die Entzerrung, die nun im DFT-Bereich erfolgen kann und dann einer simplen AGC (Automatic Gain Control) für jeden Träger entspricht.

Durch die Überlagerung sehr vieler Einzelträger können sich bei dieser Technik die Einzelträger kurzzeitig zu sehr hohen Spitzenwerten aufaddieren. Gemäß dem Gesetz der großen Zahlen entsteht ein nahezu Gauß-verteiltes Zeitsignal. Die kurzzeitigen hohen Amplituden stellen einen Hauptnachteil der Mehrträgerübertragung dar, da analoge Schaltungsteile und Analog-Digital-Wandler in ihrem Aussteuerbereich und in ihrer Dynamik bzw. Auflösung für diese hohen Amplituden ausgelegt sein müssen. Dies erfordert auch hohe Betriebsspannungen und führt damit weiter zu einer hohen Verlustleistung. In der Literatur findet sich eine Vielzahl von Vorschlägen zur Verminderung des Spitzen-Mehrwert-Verhältnisses (auch PAR-Faktor, PAR = Peak-to-Average Ratio, oder Crest-Faktor genannt), wobei die hier zu beschreibende Technik auf einem Verfahren von Jose Tellado aufbaut, wie es beispielsweise in Tellado, J., Cioffi, J.M., "PAR Reduction in Multicarrier Transmission Systems", Delayed Contribution ITU-T4/15, D.150 (WP1/15), Geneva, February 9-20, 1998, beschrieben ist. Eine Kurzdarstellung des Prinzips findet sich ebenfalls in TELLADO, J.; CIOFFI, J.M. "Efficient algorithms for reducing PAR in multicarrier systems", Proceedings 1998 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT), 16-21 August 1998, Seite 191.

Weitere Vorschläge verwenden beispielsweise erweiterte QAM-Konstellationen auf den Trägern, um die Redundanz für die Spitzenwertbeschränkung bereitzustellen. Dies erfordert einen Auswahlalgorithmus für die jeweils äquivalenten Signalpunkte einer Konstellation. Hierzu seien zwei Veröffentlichungen beispielsweise genannt, wobei aber festzuhalten ist, dass das von der Erfindung betroffene Verfahren die Redundanz auf andere Weise bereitstellt und damit nicht in Zusammenhang mit diesen Verfahren steht. Konstellationserweiterungen wurden z.B. vorgeschlagen in Chan-Soo Hwang, "A peak power reduction method for multicarrier transmission", IEEE International Conference on Communications, 2001 (ICC 2001), 11-14 Juni 2001, Vol.5, S. 1496-1500; und in dem Standardisierungsbeitrag Jose Tellado, John M. Cioffi, "PAR reduction with minimal or zero bandwidth loss and low complexity (98-173)", T1E1.4/98-173. Filterfunktionen wurden in SALVEKAR,



A.A.; ALDANA, C.; TELLADO, J.; CIOFFI, J. "Peak-to-average power ratio reduction for block transmission systems in the presence of transmit filtering", IEEE International Conference on Communications, 2001 (ICC 2001), 11-14 Juni 2001, Vol.1, S. 175-178, einbezogen. Dabei ging es jedoch um die gemeinsame Betrachtung mehrerer benachbarter Übertragungsrahmen, um Randeffekte zwischen IFFT-Symbolen zu berücksichtigen. Eine Realisierung mit geringer Komplexität, wie es die Dirac-ähnlichen Funktionen mit Skalierung und Verschiebung ermöglichen, sind allerdings nicht die Thematik dieses Aufsatzes. Damit besteht ebenfalls kein direkter Zusammenhang zum hier betroffenen Verfahren.

Bei dem oben angeführten bekannten Verfahren nach Tellado wird eine Zeitfunktion mit Dirac-ähnlichen Eigenschaften verwendet. Eine solche Dirac-ähnliche Funktion ist durch einen dominanten Impuls gekennzeichnet. Nebenmaxima sollten vom Betrag her deutlich kleiner als dieser dominante Impuls sein, beispielsweise kleiner als die Hälfte. Die Dirac-ähnlichen Funktionen werden durch reservierte Träger erzeugt, die dann zur Datenübertragung nicht mehr verwendet werden können. Das bedeutet, diese Trägerpositionen werden zunächst zu Null gesetzt. Iterativ wird dann diese Dirac-ähnliche Funktion, die lediglich die reservierten Träger belegt, gewichtet mit einem Amplitudenfaktor, der proportional der Differenz von maximalen Spitzenwert  $x_m$  und gewünschtem Maximalwert  $x_{target}$  ist, im Zeitbereich subtrahiert. Dabei wird die Dirac-ähnliche Funktion an die Stelle des Maximalwertes zyklisch verschoben. Der Verschiebungssatz der DFT-Transformation stellt sicher, dass auch nach Verschiebung nur die reservierten Träger belegt werden. Der Ablauf des Verfahrens nach Tellado ergibt sich dann wie folgt:

- Schritt Nr. 1: Initialisierung von  $X$  als DFT-Bereichs-Datenvektor mit Nullsetzen der reservierten Träger
- Schritt Nr. 2: Initialisierung des iterativ zu verändernden Zeitbereichsvektors  $x^{(0)}$  mit  $x = \text{IFFT}(X)$
- Schritt Nr. 3: Suche des Maximalwertes  $x_m^{(i)}$  und der zugehörigen Position  $m$  innerhalb des Vektors  $x$ :

$$|x_m^{(i)}| = \max_k |x_k^{(i)}|$$

- Schritt Nr. 4: Falls  $|x_m^{(i)}| < x_{target}$  oder falls  $i > i_{max}$ , ist das Ende der Iterationen erreicht und erfolgt von  $x^{(i)}$ ; wenn nicht:
- Schritt Nr. 5: Modifikation des Zeitbereichsvektors gemäß

der Iterationsvorschrift:

$$x^{(i+1)} = x^{(i)} - \alpha (x_m^{(i)} - \text{sign}(x_m^{(i)}) x_{\text{target}}) \quad (p \rightarrow m)$$

$$i \equiv i+1$$

- Neuerlich Suche des Maximalwertes etc., s. Schritte 3 und 4.

Dabei bezeichnet  $i$  den Iterationszähler ( $i=0,1,2,\dots$ ) und  $p$  ( $p \rightarrow m$ ) die zyklisch an die Stelle  $m$  verschobene Dirac-ähnliche Funktion.

Das von Tellado vorgeschlagene Verfahren arbeitet nur im Zeitbereich und ist daher durch sehr geringe Komplexität gekennzeichnet. Ein Nachteil des Verfahrens war bislang, dass nachfolgende Filterfunktionen nicht in geeigneter Weise einbezogen werden konnten. Diese Filter, die eigentlich praktisch immer vorhanden sind, erhöhen wiederum das Spitzen-Mittelwert-Verhältnis und machen damit einen Teil der Reduktion desselben zunichte.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, hier Abhilfe zu schaffen und ein Verfahren zur Übertragung von Daten mit Mehrträgerübertragung mit einer Vielzahl von Trägerfrequenzen vorzusehen, wobei die resultierenden hohen Spitzenwerte des Zeitsignals iterativ reduziert und dabei analoge und digitale Filterfunktionen einbezogen werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren der eingangs angeführten Art ist demgemäß dadurch gekennzeichnet, dass die Zeitfunktionen so generiert werden, dass die nach der Filterung erhaltenen Dirac-ähnlichen Zeitfunktionen ihre Maxima in einer überabgetasteten Zeitauflösung an verschiedenen, vorzugsweise benachbarten Stellen besitzen, dass sowohl die überabgetasteten Dirac-ähnlichen Zeitfunktionen nach der Filterung als auch die zugehörigen nicht-überabgetasteten Filter-Eingangsfunktionen gespeichert werden, und dass aus den Paaren der gespeicherten Zeitfunktionen bzw. Filter-Eingangsfunktionen iterativ ein Paar ausgewählt wird, das durch Anwenden des Verschiebungssatzes an die Stelle eines durch eine Datenbelegung der verbleibenden Träger, inklusive bereits erfolgter iterativer Modifikationen, hervorgerufenen Spitzenwertes verschoben und anschließend gewichtet mit einem Faktor von dem Zeitsignal abgezogen wird, wobei die iterativen Modifikationen parallel auf das Zeitsignal im überabgetasteten Raster nach Filterung und auf das zugehörige Zeitsignal ohne Überabtastung und ohne Filterung angewendet werden. Mit dieser Vorgangsweise wird der vorstehenden Zielsetzung in vorteilhafter Weise ent-

sprochen, und es wird eine wesentliche Reduktion der hohen Spitzenwerte im Verhältnis zum Signal-Mittelwert ermöglicht, und zwar auch dann, wenn nachfolgende Filterfunktionen berücksichtigt werden. Dem steht zwar eine durch die Überabtastung verursachte etwas längere Zeit für die Signalverarbeitung gegenüber, jedoch wirkt sich dies tatsächlich in der Praxis nicht nachteilig aus.

Versuche haben gezeigt, dass bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens eine Überabtastung gemäß einem Faktor von z.B.  $L=4$  gute Ergebnisse erbringt, und dass bei der iterativen Signalverarbeitung zumindest 10 Iterationen (oft sogar weniger) ausreichend sind.

Die Zahl der Iterationen wird zweckmäßig durch Vorgabe eines Schwellenwerts bestimmt, der entsprechend der gewünschten Signalqualität ausgewählt wird, und in diesem Zusammenhang ist eine vorteilhafte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens dadurch gekennzeichnet, dass die Daten nach Überschreiten einer maximalen Anzahl von Iterationen durch alle Werte der überabgetasteten Zeitfunktionen oder Unterschreiten einer vorgegebenen Schwelle durch Übertragen der nicht-überabgetasteten Zeitfunktion über reale Filteranordnungen abgegeben werden.

Hinsichtlich der für die erfindungsgemäße Technik charakteristischen Überabtastung hat es sich weiters als vorteilhaft erwiesen, wenn die Menge der überabgetasteten Dirac-ähnlichen Zeitfunktionen zeitlich benachbarte Maxima aufweist, während der iterativen Verarbeitung durch  $m \bmod L$  ausgewählt und um  $\lfloor m/L \rfloor$  Takteinheiten (normales Abtastraster) bzw.  $L \cdot \lfloor m/L \rfloor$  Takteinheiten (überabgetastet) zyklisch verschoben werden, wobei  $m$  die Maximalposition im überabgetasteten Takt und  $L$  die Überabtastung angibt.

Für eine effiziente Iteration im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es überdies von Vorteil, wenn der Faktor, mit dem bei der iterativen Verarbeitung das verschobene Funktionen-Paar gewichtet wird, durch eine Schrittweite ( $\alpha$ ) gebildet wird und durch die Überschreitung einer vorgegebenen Schwelle ( $x_{\text{target}}$ ) durch das überabgetastete Zeitsignal ( $\tilde{x}_m^{(i)}$ ) definiert wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann mit Vorteil sowohl bei einer Datenübertragung über Kabel als auch bei einer drahtlosen Übertragung verwendet werden. Im Hinblick auf die bei einer Übertragung über Kabel verwendete Basisbandübertragung ist in Weiterbildung der Erfindung bevorzugt vorgesehen, dass für eine

leitungsgebundene Übertragung der Daten die reservierten Träger paarweise, entsprechend konjugiert-komplexen Paaren im DFT-Bereich, gewählt werden.

Zusammenfassend werden somit bei der erfindungsgemäßen Technik zur Verringerung des Spitzen-Mittelwert-Verhältnisses einzelne Träger nicht mit Daten belegt, und diese Träger werden stattdessen zur Definition Dirac-ähnlicher Zeitfunktionen verwendet. Hierbei werden Paare von solchen Zeitfunktionen verwendet, wobei jeweils eine Funktion überabgetastet eine real existierende Filterfunktion mit einbezieht, wogegen die andere Funktion die zugehörige nicht-überabgetastete Zeitfunktion ohne Filterung darstellt. Es werden Funktionensätze abgespeichert, die im überabgetasteten Raster benachbarte Maxima aufweisen, und in einem iterativen Verfahren werden parallel überabgetastete und nicht-überabgetastete Zeitfunktionen, die zunächst durch die belegten Datenträger nach der IFFT-Transformation mit und ohne Filterung initialisiert werden, durch Subtraktion der gespeicherten gewichteten Dirac-ähnlichen Funktionen modifiziert. Dabei wird durch zyklische Verschiebung das Maximum der Dirac-ähnlichen Funktion mit einer zu reduzierenden Spitze des Zeitsignals zur Deckung gebracht. Bei der Subtraktion wird eines der Dirac-ähnlichen Funktionenpaare ausgewählt und mit einer Schrittweite und der Überschreitung einer vorgegebenen Amplitudenschwelle gewichtet. Nach Beendigung des iterativen Ablaufs wird das nicht überabgetastete Signal an die folgenden Sendestufen, insbesondere die realen Filter, ausgegeben.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung noch weiter erläutert, es zeigen:

Fig.1 ein Blockschaltbild einer Übertragungseinrichtung mit einem Sender (Fig.1a) und Empfänger (Fig.1b) zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig.2 in einem Schema die Erzeugung der beiden beim erfindungsgemäßen Verfahren verwendeten Funktionensätze, nämlich von Dirac-ähnlichen Speisefunktionen und von entsprechenden überabgetasteten Zeitfunktionen;

Fig.3 in einem vergleichbaren Schema die beim erfindungsgemäßen Verfahren vorgesehene parallele Signalverarbeitung, nämlich der nicht-überabgetasteten Zeitfunktion sowie der überabgetasteten Zeitfunktion;



Fig.4 in einem Diagramm die relative Häufigkeitsverteilung (bzw. Dichte) über einer normierten Spannung bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens im Vergleich zu bekannten Techniken;

Fig.5 ein Diagramm einer Dirac-ähnlichen Funktion; und

Fig.6 ein Diagramm einer Dirac-ähnlichen Zeitfunktion mit Maximum an benachbarten Stellen in einer überabgetasteten Zeitauflösung.

In Fig.1 ist die prinzipielle Anordnung von Sender 2 und Empfänger 3 einer DMT-Übertragungseinrichtung 1 dargestellt, wobei unwesentliche Bestandteile nicht dargestellt wurden. Da die Erweiterung um das Guard-Intervall, wie erwähnt, für die erfindungsgemäße Technik keine Rolle spielt, ist diese ebenfalls in Fig.1 weggelassen.

Bei der in Fig.1 gezeigten Übertragungseinrichtung 1 weist der Sender 2 einen Seriell-Parallel-Wandler 4; ein Bitallokations-Modul 5 zur Bitzuordnung zu den Trägern, wobei für das erfindungsgemäße Verfahren einzelne Träger mit Null belegt werden; ein QAM-Mapping-Modul 6 zur Zuordnung der QAM-Punkte, wobei die reservierten Träger wieder mit Null besetzt werden; ein IFFT-Modul, der die eigentliche Modulation darstellt; ein PAR-Reduktions-Modul 8; einen Parallel-Seriell-Wandler 9; und eine Ausgabe-Einheit 10 mit Filterfunktion auf.

Der Empfänger 3 enthält umgekehrt: ein Empfangsfilter 11; einen Parallel-Seriell-Wandler 12; ein FFT-Modul 13 zur Demodulation; ein QAM-Demapping-Modul 14 zur rückwärtigen Zuordnung der QAM-Punkte zu Bits, wobei die nicht belegten Träger nicht ausgewertet werden; und einen Seriell-Parallel-Wandler 15 zur Ausgabe der Daten.

Die in Fig.1 ersichtlichen Komponenten 4 bis 15 sind dabei im Prinzip herkömmliche Komponenten, die auch Software-mäßig realisiert sein können, und die für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens entsprechend eingerichtet sind; dies betrifft insbesondere das PAR-Reduktions-Modul 8, dessen Funktion nachfolgend im Detail erläutert wird.

Beim erfindungsgemäßen Übertragungs-Verfahren werden im Unterschied zum Stand der Technik (beliebige) Filterfunktionen einbezogen, ohne dass die Reduktion des Crest-Faktors wesentlich beeinträchtigt wurde. Zu diesem Zweck wird bei der Initialisierung des iterativ zu verändernden Zeitbereichsvektors  $x$  eine

längere IDFT-Transformation verwendet, die eine genauere zeitliche Auflösung erlaubt. Die verwendete IDFT-Länge sei  $LN$ , wobei  $N$  die ursprüngliche Transformationslänge ist. Anstelle nur einer Dirac-ähnlichen Funktion  $p$  werden beim erfindungsgemäßen Verfahren  $L$  solche Funktionen verwendet, die möglichst in der höheren zeitlichen Auflösung direkt benachbarte Spitzenwerte aufweisen. Dabei wird bei der Festlegung dieser Dirac-ähnlichen Funktionen bereits die Filterfunktion berücksichtigt. Es werden dazu im DFT-Bereich die reservierten Stellen einer Dirac-ähnlichen Funktion so festgelegt, dass nach dem Filter (10 in Fig.1) - nicht notwendigerweise auch vor dem Filter - die gewünschte Dirac-ähnliche Form vorliegt. Die weiteren  $L-1$  verschobenen Dirac-ähnlichen Funktionen erhält man beispielsweise durch Verwendung des Verschiebungssatzes, wobei trotz zeitlich höherer Auflösung dies immer noch durch die reservierten Träger realisiert werden kann. Durch IFFT-Transformationen der ursprünglichen Länge  $N$  werden dann beim erfindungsgemäßen Verfahren ein Satz von Dirac-ähnlichen Speisefunktionen und gleichzeitig - durch IFFT-Transformationen der Länge  $LN$  nach Einrechnen der Filterfunktion im DFT-Bereich - die korrespondierenden überabgetasteten Zeitfunktionen am Filterausgang berechnet. Beide Sätze von Funktionen werden in dem vorliegenden iterativen Verfahren parallel verarbeitet. Damit erhält man neben den Signalverläufen nach der Filterung gleichzeitig auch die Sendeverläufe im ursprünglichen Abtastraster, die nachher das real vorhandene Filter 10 durchlaufen, wenn die - im Modul 8 von Fig.1 durchgeführte - Iterationen abgeschlossen sind.

Fig.2 zeigt die Erzeugung der beiden Funktionensätze im Detail. Die Auswahl der reservierten Träger(-frequenzen) für eine Dirac-ähnliche Funktion im überabgetasteten Zeitbereich ist bei Block 20 zusammengefasst. Der obere Zweig 21 mit einem die Überabtastung um  $L$  veranschaulichenden Block 22, der Filternachbildung (LP) bei Block 23, der erweiterten IFFT der Länge  $LN$  bei Block 24 und der Suche des Maximums bei Block 25 dient dazu, die Maximumposition im überabgetasteten Zeitbereich zu bestimmen, um dann in der mit Block 26 gezeigten Schiebeoperation im DFT-Bereich (Anwendung des Verschiebungssatzes) zunächst das Maximum auf die Nullposition zu schieben und dann - bei 27 - auch die  $L$  zweitverschobenen Dirac-ähnlichen Funktionen zu erzeugen. Dies erfolgt im DFT-Bereich und beeinflusst lediglich die reservierten Träger. Die Division durch  $|p_m|$  bei Block 26 dient der Normali-

sierung. Bei Block 28 ist weiters eine IFFT der ursprünglichen Länge (IFFT)  $N$  gezeigt, die die Speisefunktionen im Originaltakt  $p_{(l)}$ , mit  $l=0, \dots, L-1$ , erzeugt, die dann im weiter unten beschriebenen iterativen Algorithmus benötigt werden, um das zum Schluss in das reale Filter eingespeiste Zeitsignal zu bilden. Die zugehörigen überabgetasteten Dirac-ähnlichen Signale  $\tilde{p}_{(l)}$ , mit  $l=0, \dots, L-1$ , werden durch die Überabtastung ( $L$ ) bei Block 29, die bei Block 30 gezeigte Filternachbildung im DFT-Bereich ( $LP$ ) und schließlich durch die bei Block 31 gezeigte erweiterte IFFT-Transformation der Länge  $LN$  berechnet.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird wie bei der Methode nach Tellado die Maximalstelle  $m$  gesucht, allerdings wird dies in der überabgetasteten höheren Zeitauflösung getan. Die Modulo-Operation  $m \bmod L$  dient dann der Auswahl der Dirac-ähnlichen Funktionen parallel in der überabgetasteten Version und in der Version im ursprünglichen Abtastraster. Nach Auswahl des Funktionenpaares erfolgt beim erfindungsgemäßen Verfahren eine Verschiebung um  $\lfloor m/L \rfloor$  im ursprünglichen Abtastraster und um  $L \cdot \lfloor m/L \rfloor$  im überabgetasteten Raster, um das Maximum der Dirac-ähnlichen Funktionen an die gewünschte Position zu verschieben. (Mit  $\lfloor \cdot \rfloor$  sind die sogenannten Gauß-Klammern bezeichnet, die ein Abrunden bedeuten). Die Modifikation durch die ausgewählten und verschobenen Dirac-ähnlichen Funktionen erfolgt parallel im überabgetasteten und normalem Abtastraster. Dabei werden wie beim Verfahren nach Tellado die Funktionen mit einer Schrittweite  $\alpha$  und der Größe der Schwellüberschreitung gewichtet.

Fig.3 zeigt die parallele Verarbeitung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Der obere Zweig 32, bestehend aus Schaltern 33 (START), 34 (STOP), einer Addition 35 und einer Multiplikation 36, zeigt die iterative Veränderung der nicht überabgetasteten Zeitfunktion, während der untere Zweig 37 mit Schaltern 38 (START), 39 (STOP), einer Addition 40 und einer Multiplikation 41 die zugehörige Modifikation im überabgetasteten Zeitraster durchführt. Die bei Block 42 durchgeführte Überabtastung ( $L$ ) der ursprünglichen, von den Nutzerdaten gebildeten Zeitfunktionen ist gefolgt von der bei Block 43 gezeigten Nachbildung eines real vorhandenen Filters ( $LP$ ). Diese Nachbildung kann jedoch auch bereits alternativ im DFT-Bereich erfolgen, womit dann parallel mit IFFT-Transformationen der Längen  $N$  und  $LN$  die beiden Zeitfunktionen  $x^{(0)}$  und  $\tilde{x}^{(0)}$  erzeugt werden können. In Fig.3 ist nur die



Zeitbereichsnachbildung des Filters gezeigt. Die bei Block 44 gezeigte Suche der Maximalstelle und die bei Block 45 veranschaulichte Wichtung entsprechen im erfindungsgemäßen Verfahren weitgehend den oben beschriebenen Schritten Nr. 3 und Nr. 5 der Methode nach Tellado, allerdings erfolgen diese Schritte im erfindungsgemäßen Verfahren im überabgetasteten Zeittakt. Die bei 46 gezeigte Abfrage des erfindungsgemäßen Verfahrens entspricht dem Schritt Nr. 4 der Methode nach Tellado. Die durch den anhand von Fig.2 beschriebenen Verfahrensteil bestimmten Paare von Dirac-ähnlichen Musterfunktionen werden in einem Speicher gehalten, vgl. Block 47 in Fig.3, und gesteuert von der Verzweigung, d.h. Abfrage 46 je nach der bestimmten Maximalposition  $m$  gemäß  $m \bmod L$  ausgewählt und um  $|m/L|$  bzw.  $L - |m/L|$  verschoben.

Legt man praktische Beispiele aus dem Bereich der leitergebundenen Übertragungstechnik zugrunde, so ist bei ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line) eine FFT-Länge von  $N=512$  und bei VDSL (Very high-speed Digital Subscriber Line) eine FFT-Länge von  $N=8192$  üblich. Als Überabtastung hat sich bei praktischen Versuchen  $L=4$  als ausreichend erwiesen. Entsprechende Beispiele im Funkbereich sind DAB (Digital Audio Broadcasting), DVB (Digital Video Broadcasting), HIPERLAN 2 (Wireless LAN), wobei insbesondere die ersten beiden Verfahren wegen der höheren Trägerzahl von mehreren Tausend interessant sind. Auch wenn Beispiele aus der leitergebundenen Übertragungstechnik gewählt wurden, ist das Verfahren sehr wohl auch für Anwendungen im Funkbereich denkbar. Unterschiede zwischen der Kabel- und der Funkanwendung bestehen darin, dass es sich beim Kabel um eine Basisbandübertragung handelt, bei der immer konjugiert-komplexe Paare im DFT-Bereich zu betrachten sind, während dies im Funkbereich nicht der Fall ist. Dies bedeutet insbesondere auch, dass bei der Kabelanwendung die für das erfindungsgemäße Verfahren reservierten Träger paarweise zu wählen sind (Schritt 20 in Fig.1). Der benötigte Anteil an reservierten Trägern beträgt ca. 5%. Die größte PAR-Reduktion ist bei den ersten Iterationen gegeben. Über 20 Iterationen sind kaum sinnvoll, oft werden 10 Iterationen genügen.

Fig.4 zeigt die relativen Häufigkeitsverteilungen der Sendespannungen, die hier als normierte Spannungen  $u$  dargestellt sind, bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens beispielhaft bei zwei verschiedenen Parametersätzen  $x_{\text{target}}$  und  $\alpha$ , nämlich (1):  $x_{\text{target}}=8$ ,  $\alpha=0,5$  (Kurve 50) und (2):  $x_{\text{target}}=9,5$ ,  $\alpha=0,7$  (Kurve 51) im



Vergleich zu den Ergebnissen ohne jegliche Spitzenwertbegrenzung und bei Anwendung der ursprünglichen Methode nach Tellado, d.h. ohne Überabtastung. Dabei zeigen die Kurven 52 die Parabel der Gauß-förmigen Häufigkeitsverteilung ohne Anwendung einer Spitzenwertbegrenzung, und die Kurven 53 bzw. 54 die Ergebnisse beim Tellado-Verfahren bei nachfolgender Filterung mit einer rechteckförmigen bzw. ADSL-ähnlichen (ITU-T G.996.1) Übertragungsfunktion. Die Ergebnisse mit dem erfindungsgemäßen Verfahren gemäß den Kurven 50 und 51 unterscheiden sich nur durch die Wahl der Parameter  $x_{\text{target}}$  und  $\alpha$ . Die Kurve 55 zeigt schließlich Ergebnisse mit der Methode nach Tellado, also ohne Überabtastung, ohne jegliche Filterung. Dieses Ergebnis gibt damit eine untere Grenze des Spitzen-Mittelwert-Verhältnisses wieder, die praktisch bei existierender nachfolgender Filterung nicht erreichbar ist. Wie ersichtlich kommen aber die erfindungsgemäß erzielten Ergebnisse, gemäß der Kurven 50, 51, diesem Ergebnis doch ziemlich nahe.

Beispielhaft ist schließlich in Fig.5 ein Ausschnitt aus einer Dirac-ähnlichen Funktion veranschaulicht, wobei ein dominanter Impuls D vorhanden ist, der deutlich größer ist als (z.B. mehr als doppelt so groß ist wie) Nebenmaxima in der Funktion.

In Fig.6 ist schließlich ein Funktionsverlauf für die nach der Filterung erhaltenen Dirac-ähnlichen Zeitfunktionen veranschaulicht, bei dem normalisierte Abtastwerte über den Nummern der Abtastwerte (als Maß für die Zeit) aufgetragen sind, wobei die Maxima (in der überabgetasteten Zeitauflösung) an benachbarten Stellen vorliegen.

Beim beschriebenen Verfahren zur Datenübertragung durch Mehrträger-Modulation werden somit, kurz zusammengefasst, zur Verringerung des Spitzen-Mittelwert-Verhältnisses einzelne Träger nicht mit Daten belegt und stattdessen zur Definition Dirac-ähnlicher Zeitfunktionen verwendet werden, wobei Paare von solchen Zeitfunktionen verwendet werden, und jeweils eine Funktion überabgetastet eine real existierende Filterfunktion mit einbezieht, wogegen die andere Funktion die zugehörige nicht-überabgetastete Zeitfunktion ohne Filterung darstellt. Es werden Funktionensätze abgespeichert, die im überabgetasteten Raster benachbarte Maxima aufweisen, und in einem iterativen Verfahren werden parallel überabgetastete und nicht-überabgetastete Zeitfunktionen ( $\tilde{x}, x$ ), die zunächst durch die belegten Datenträger nach IFFT mit und ohne Filterung initialisiert werden, durch Subtraktion der ge-

speicherten gewichteten Dirac-ähnlichen Funktionen modifiziert. Dabei wird durch zyklische Verschiebung das Maximum der Dirac-ähnlichen Funktion  $\tilde{p}_{(1)}$  mit einer zu reduzierenden Spitze an der Stelle  $m$  des Zeitsignals  $\tilde{x}^{(1)}$  zur Deckung gebracht. Bei der Subtraktion wird eines der Dirac-ähnlichen Funktionenpaare ausgewählt und mit einer Schrittweite ( $\alpha$ ) und der Überschreitung einer vorgegebenen Amplitudenschwelle gewichtet. Nach Beendigung des iterativen Ablaufs wird das nicht überabgetastete Signal an die folgenden Sendestufen, insbesondere die realen Filter, ausgegeben.

## Patentansprüche:

1. Verfahren zum Übertragen von Daten durch Mehrträger-Modulation, wobei die Daten senderseitig zu Blöcken zusammengefasst und durch Inverse Diskrete Fourier-Transformation (IDFT) blockweise moduliert werden, und wobei mehrere Träger, d.h. Komponenten der DFT-Blöcke, reserviert werden, die nicht mit Daten belegt werden, und diese Träger so belegt werden, dass damit eine Menge von Zeitfunktionen generiert wird, die nach einer Filterung Dirac-ähnliche Eigenschaften aufweisen, dadurch gekennzeichnet,
  - dass die Zeitfunktionen so generiert werden, dass die nach der Filterung erhaltenen Dirac-ähnlichen Zeitfunktionen ihre Maxima in einer überabgetasteten Zeitauflösung an verschiedenen, vorzugsweise benachbarten Stellen besitzen,
  - dass sowohl die überabgetasteten Dirac-ähnlichen Zeitfunktionen nach der Filterung als auch die zugehörigen nicht-überabgetasteten Filter-Eingangsfunktionen gespeichert werden, und
  - dass aus den Paaren der gespeicherten Zeitfunktionen bzw. Filter-Eingangsfunktionen iterativ ein Paar ausgewählt wird, das durch Anwenden des Verschiebungssatzes an die Stelle eines durch eine Datenbelegung der verbleibenden Träger, inklusive bereits erfolgter iterativer Modifikationen, hervorgerufenen Spitzenwertes verschoben und anschließend gewichtet mit einem Faktor von dem Zeitsignal abgezogen wird,
  - wobei die iterativen Modifikationen parallel auf das Zeitsignal im überabgetasteten Raster nach Filterung und auf das zugehörige Zeitsignal ohne Überabtastung und ohne Filterung angewendet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Daten nach Überschreiten einer maximalen Anzahl von Iterationen durch alle Werte der überabgetasteten Zeitfunktionen oder Unterschreiten einer vorgegebenen Schwelle durch Übertragen der nicht-überabgetasteten Zeitfunktion über reale Filteranordnungen abgegeben werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Menge der überabgetasteten Dirac-ähnlichen Zeitfunktionen zeitlich benachbarte Maxima aufweisen, während der iterativen Verarbeitung durch  $m \bmod L$  ausgewählt und um  $\lfloor m/L \rfloor$  Takteinheiten

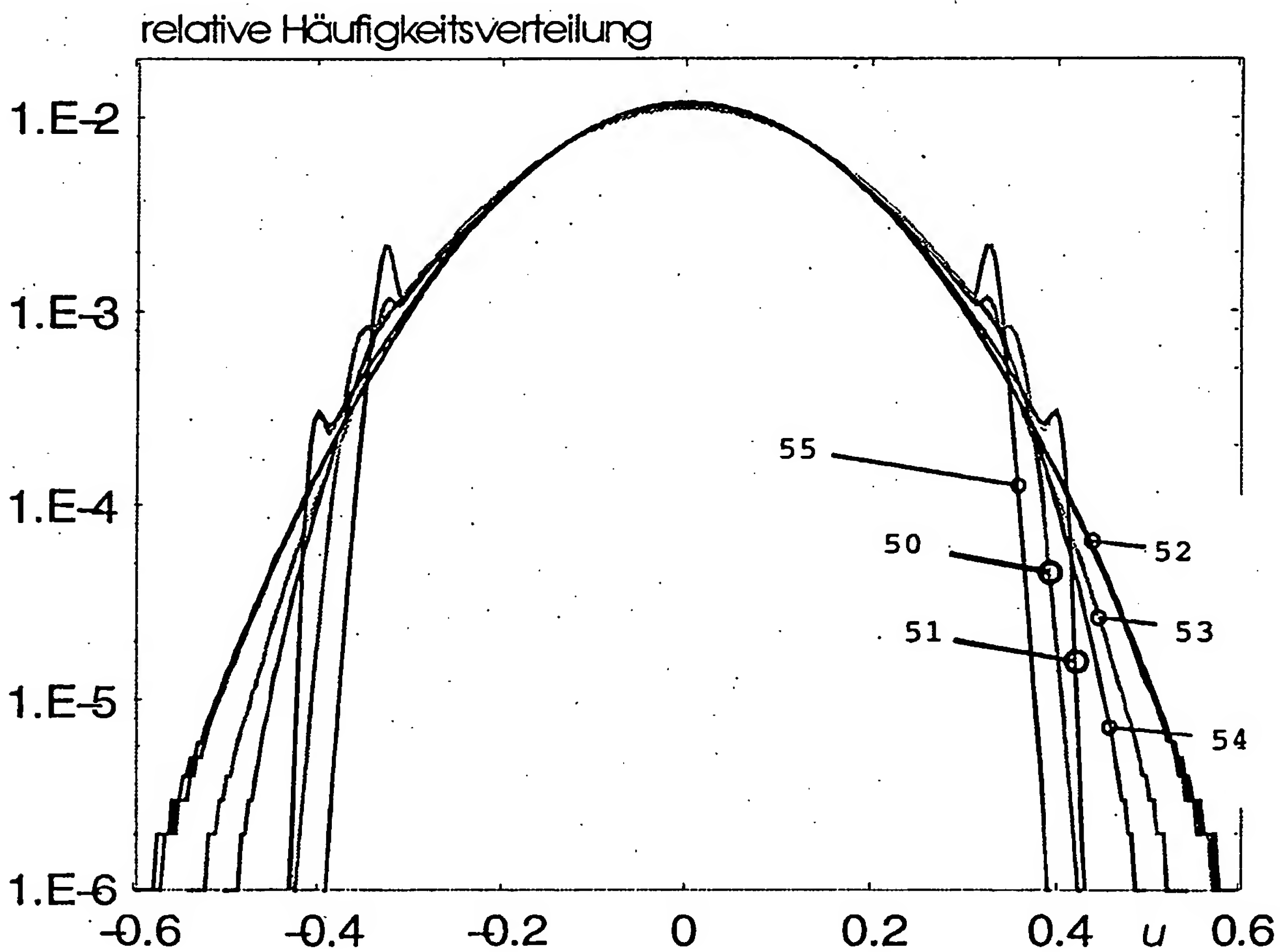
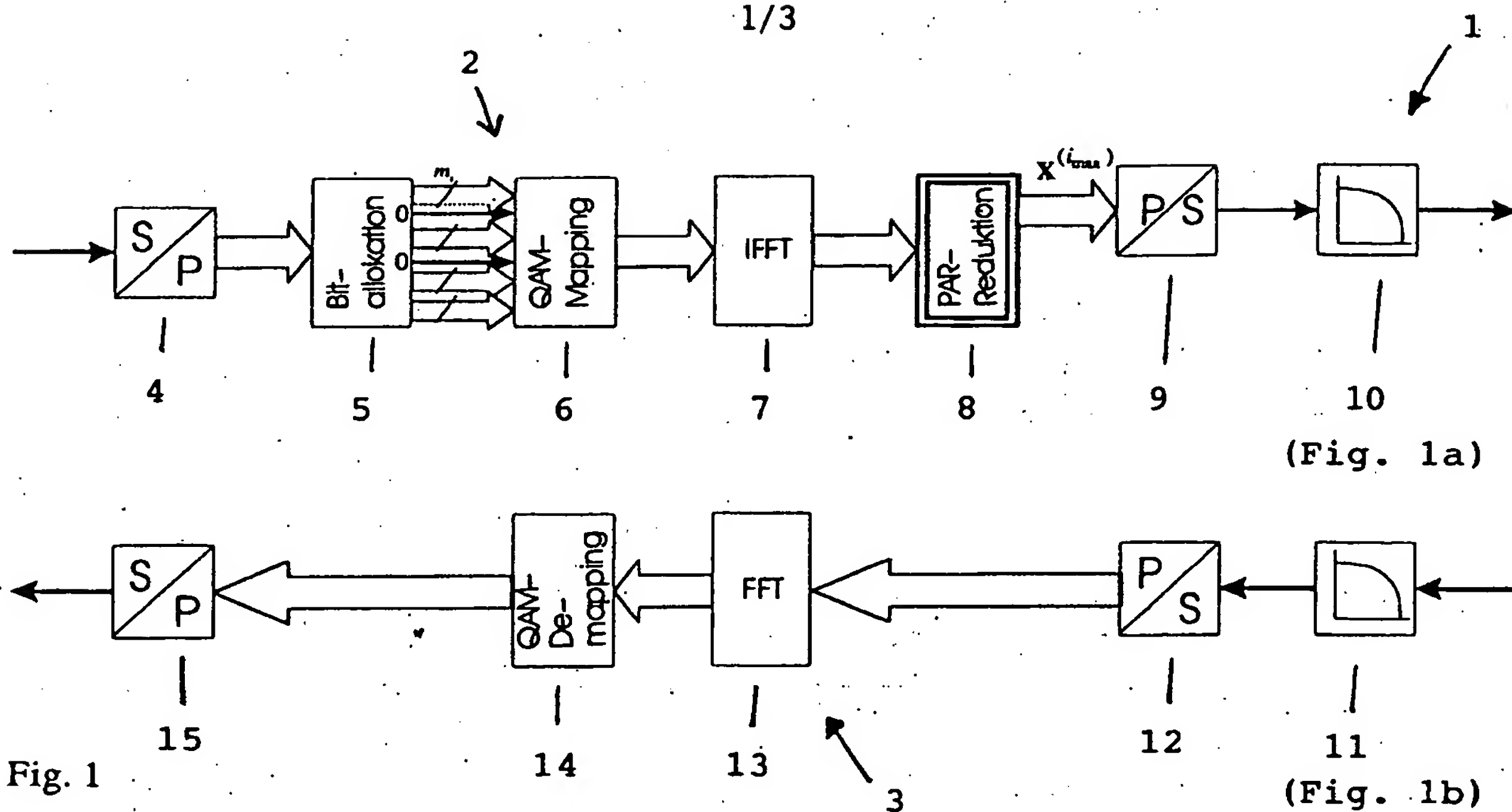
ten (normales Abtastraster) bzw.  $L \cdot \lfloor m/L \rfloor$  Takteinheiten (überabgetastet) zyklisch verschoben werden, wobei  $m$  die Maximalposition im überabgetasteten Takt und  $L$  die Überabtastung angibt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Faktor, mit dem bei der iterativen Verarbeitung das verschobene Funktionen-Paar gewichtet wird, durch eine Schrittweite ( $\alpha$ ) gebildet wird und die Überschreitung einer vorgegebenen Schwelle ( $x_{\text{target}}$ ) durch das überabgetastete Zeitsignal ( $\tilde{x}_m^{(i)}$ ) definiert wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass für eine leitungsgebundene Übertragung der Daten die reservierten Träger paarweise, entsprechend konjugiert-komplexen Paaren im DFT-Bereich, gewählt werden.



1/3



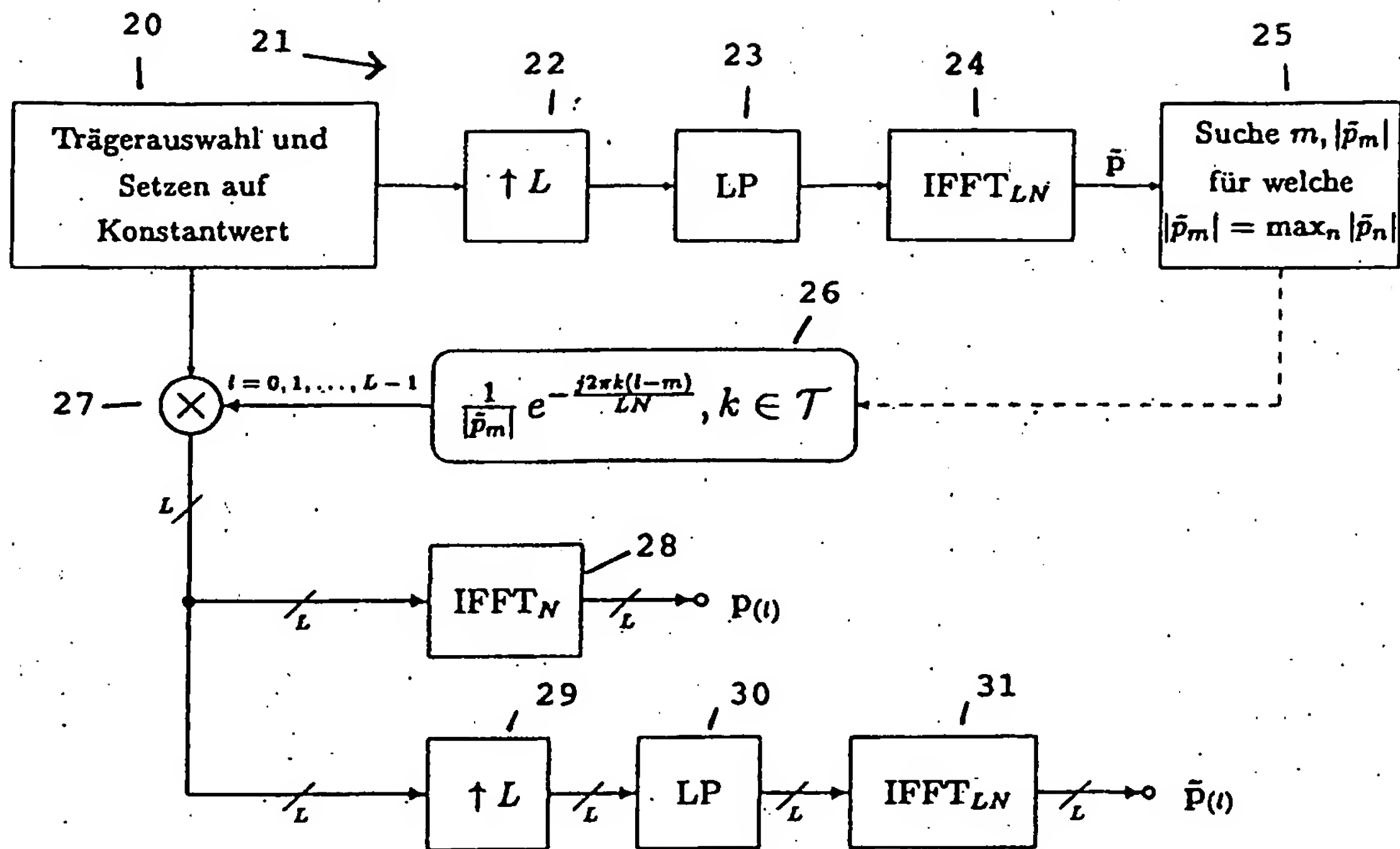


Fig. 2

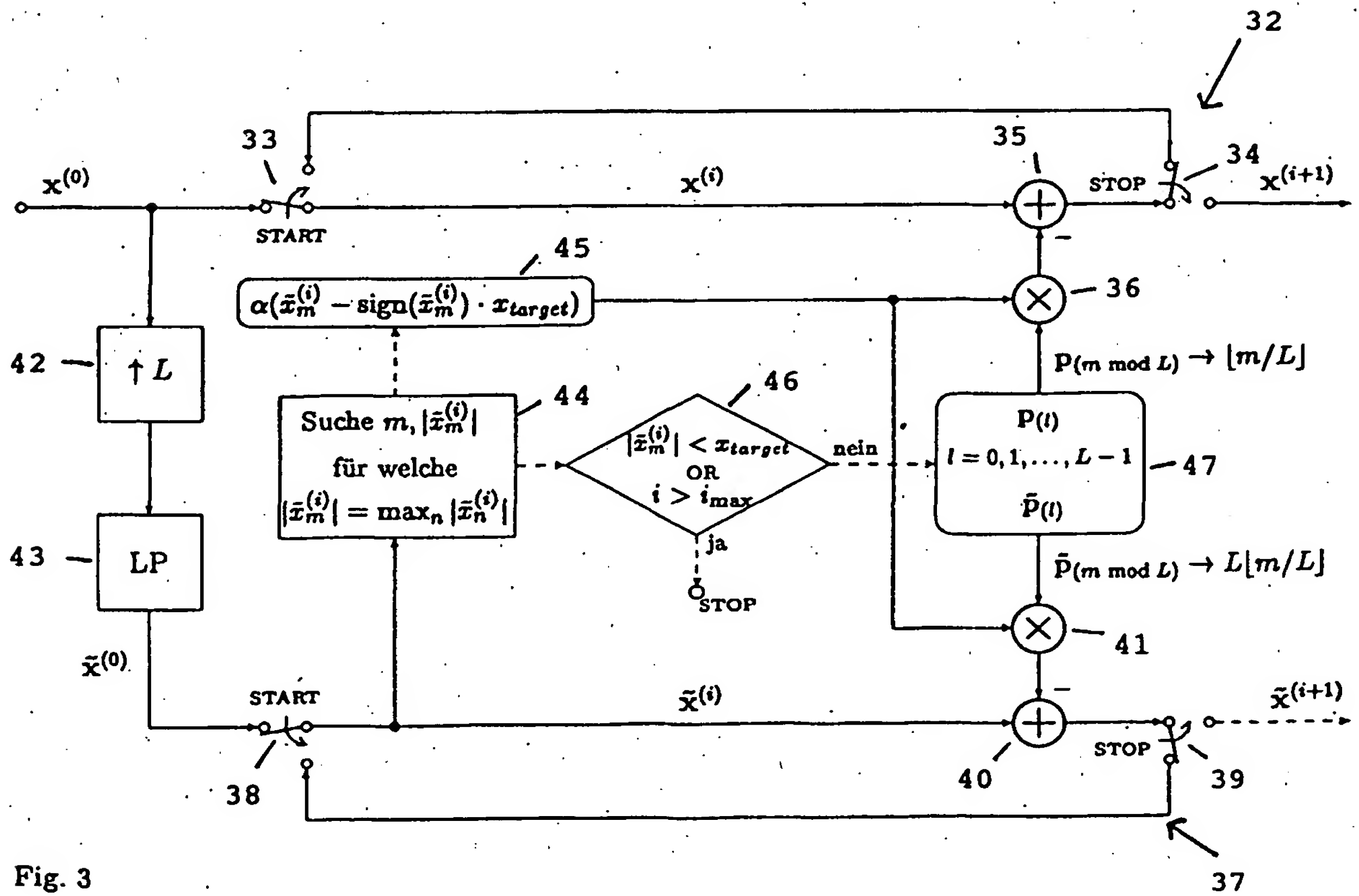


Fig. 3

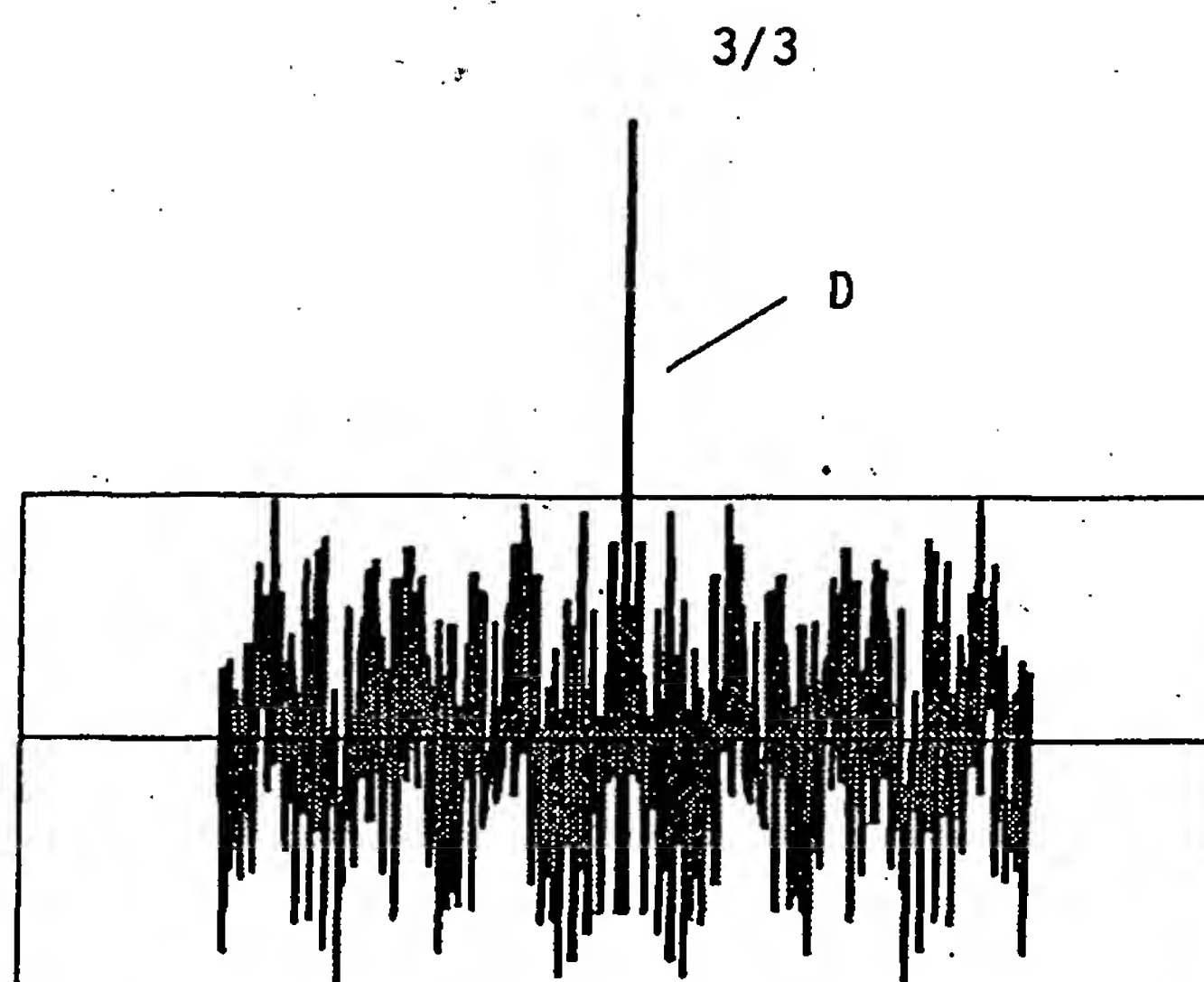


FIG. 5

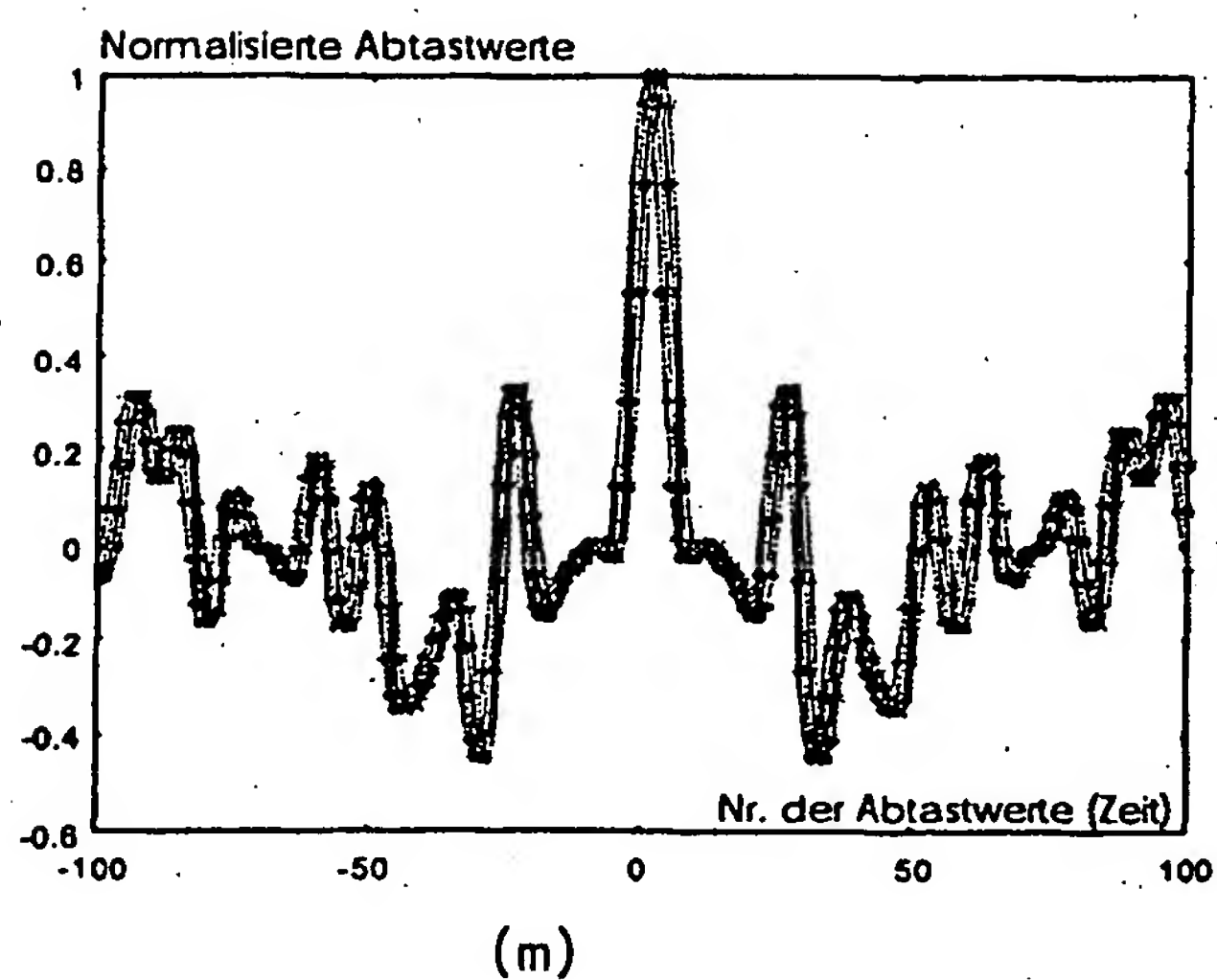


FIG.6